

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IN RE APPLICATION OF: Masahiro AOYAGI, et al.

GAU:

SERIAL NO: 10/631,791

EXAMINER:

FILED: August 1, 2003

FOR: SUPERCONDUCTING INTEGRATED CIRCUIT AND METHOD FOR FABRICATION THEREOF

REQUEST FOR PRIORITY

COMMISSIONER FOR PATENTS
ALEXANDRIA, VIRGINIA 22313

SIR:

- ☐ Full benefit of the filing date of U.S. Application Serial Number , filed , is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §120.
- ☐ Full benefit of the filing date(s) of U.S. Provisional Application(s) is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119(e): Application No. Date Filed
- ☒ Applicants claim any right to priority from any earlier filed applications to which they may be entitled pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119, as noted below.

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicants claim as priority:

<u>COUNTRY</u>	<u>APPLICATION NUMBER</u>	<u>MONTH/DAY/YEAR</u>
JAPAN	2002-224293	August 1, 2002
JAPAN	2002-375882	December 26, 2002

Certified copies of the corresponding Convention Application(s)

- ☒ are submitted herewith
- ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee
- ☐ were filed in prior application Serial No. filed
- ☐ were submitted to the International Bureau in PCT Application Number
Receipt of the certified copies by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule 17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.
- ☐ (A) Application Serial No.(s) were filed in prior application Serial No. filed ; and
- ☐ (B) Application Serial No.(s)
- ☐ are submitted herewith
- ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee

Respectfully Submitted,

OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,
MAIER & NEUSTADT, P.C.


Marvin J. Spivak

Registration No. 24,913

Joseph A. Scafetta, Jr.
Registration No. 26,803



22850

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 2 年 8 月 1 日
Date of Application:

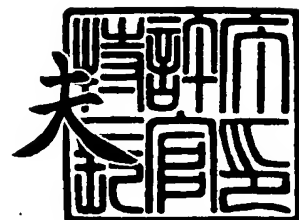
出 願 番 号 特 願 2 0 0 2 - 2 2 4 2 9 3
Application Number:
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 2 - 2 2 4 2 9 3]

出 願 人 独 立 行 政 法 人 産 業 技 術 総 合 研 究 所
Applicant(s):

2 0 0 3 年 7 月 2 8 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 329-02260

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H01L 21/00

【発明者】

【住所又は居所】 茨城県つくば市東 1 - 1 - 1 独立行政法人産業技術総合研究所つくばセンター内

【氏名】 青柳 昌宏

【発明者】

【住所又は居所】 茨城県つくば市東 1 - 1 - 1 独立行政法人産業技術総合研究所つくばセンター内

【氏名】 仲川 博

【発明者】

【住所又は居所】 茨城県つくば市東 1 - 1 - 1 独立行政法人産業技術総合研究所つくばセンター内

【氏名】 所 和彦

【発明者】

【住所又は居所】 茨城県つくば市東 1 - 1 - 1 独立行政法人産業技術総合研究所つくばセンター内

【氏名】 菊地 克弥

【特許出願人】

【識別番号】 301021533

【氏名又は名称】 独立行政法人産業技術総合研究所

【代表者】 吉川 弘之

【電話番号】 0298-61-3280

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 超伝導集積回路及びその作製方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板上に、下から下部超伝導電極、トンネルバリア、上部超伝導電極の順で積み上げ、

前記下部超伝導電極及び前記上部超伝導電極からそれぞれ配線を引き出すためのビアホールを形成した絶縁層を配置し、

該絶縁層に、高解像度な感光性溶媒可溶有機絶縁材料を用いたことを特徴とする超伝導集積回路。

【請求項 2】 基板上に、下部超伝導電極、トンネルバリア、及び上部超伝導電極を順次堆積し、

下部電極パターンで微細加工し、その後、上部電極パターンで微細加工し、全面に高解像度な感光性溶媒可溶有機絶縁材料を塗布し、リソグラフィ工程により、ビアホールを形成した、ことを特徴とする超伝導集積回路の作製方法。

【請求項 3】 前記高解像度な感光性溶媒可溶有機絶縁材料として、感光性溶媒可溶ポリイミドを使用することを特徴とする請求項 2 に記載の超伝導集積回路の作製方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、優れた素子特性を有する超伝導トンネル接合素子、マイクロブリッジ素子などの超伝導素子およびそれらを集積した超伝導集積回路の作製方法に関するもので、積層された配線間の層間絶縁材料として、酸化シリコン膜や窒化シリコン膜などが従来用いられているのに対して、優れた絶縁特性と低誘電率特性を有する感光性有機絶縁膜を用いることにより、電気特性に優れ、簡便な作製プロセスが実現できる超伝導集積回路及びその作製方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

従来、超伝導トンネル接合（ジョセフソン）素子を作製するとき、その上部電極と下部電極の絶縁を行うための材料として、酸化シリコン膜や窒化シリコン膜などが層間絶縁膜として用いられている。この絶縁膜の絶縁特性や誘電特性が、超伝導トンネル接合素子の特性にも影響を与える。このため構成要素である接合素子の特性変化による超伝導集積回路への影響も大きい。

【0003】

このため、層間絶縁膜に用いる材料には絶縁特性が良く、低誘電率特性を示す材料が求められている。しかし、現在までにこれらの条件を満たし、超伝導トンネル接合素子の作製に適用可能な材料の報告は無い。

【0004】

絶縁膜の形成方法として、基板全面に真空装置によるスパッタリング法および蒸着法を用いて絶縁膜を堆積させた後に、フォトレジストを用いてパターニングを行い、エッチングをして絶縁膜にビアホールを形成し、層間絶縁膜を作成する方法と、基板にフォトレジストを塗布しパターニングの後に、真空装置によるスパッタリング法および蒸着法により絶縁膜を堆積させ、リフトオフによる層間絶縁膜を形成する方法がある。この方法ではいずれも真空装置を必要とし、なおかつ工程数が多くなるため、そのビアホールの確実性に難がある。

【0005】

まず、図2及び3を用いて、従来の超伝導トンネル接合素子の層間絶縁膜に関する作製プロセスについて説明する。

図2では絶縁膜を堆積した後に、フォトレジストを基板全面に塗布し、リソグラフィ工程によるパターニングを行い、エッチング法を用いたビアホール加工による層間絶縁膜形成するプロセスを中心に説明する。

(1) 基板上にエッチング保護層を形成し、下部電極／トンネルバリア／上部電極の構造をもつトンネル接合をスパッタリング法により堆積した後に、フォトリソグラフィ技術により下部電極用レジストパターンおよび上部電極用レジストパターンを形成し、エッチングによってトンネル接合素子及び下部配線層をそれぞれ加工する。

(2) 続いて基板全面に、上部と下部電極の絶縁を行うため、絶縁層（二酸化シ

リコン膜および酸化シリコン膜および窒化シリコンなど) をスパッタリング法及び蒸着法により堆積させる。

(3) この絶縁膜上にフォトレジストを基板全面に塗布する。

(4) フォトリソグラフィ技術を用いて、上部及び下部電極からそれぞれ配線を引き出すために絶縁層にビアホールを作製するためのフォトレジストパターンを形成する。

(5) 真空装置を用いてのドライエッチング法により、ビアホールを形成する。

(6) その後フォトレジストを除去することで、層間絶縁膜が完成する。

(7) 最後に配線電極を全面にスパッタリング法により堆積した後、フォトリソグラフィ技術により配線用フォトレジストパターンを形成し、エッチングにより、配線層を加工する。

【0006】

次に図3ではフォトレジストを基板全面に塗布し、リソグラフィ工程よりビアホール形状にフォトレジストを形成し、その後絶縁膜を堆積し、リフトオフ法による層間絶縁膜形成を説明する。

(1) 基板上にエッチング保護層を形成し、下部電極／トンネルバリア／上部電極の構造をもつトンネル接合を堆積した後に、フォトリソグラフィ技術による下部電極パターンおよび上部電極パターンを形成し、エッチングによってトンネル接合素子及び下部配線層を形成する。

(2) 続いて基板全面に、フォトレジストを塗布する。

(3) フォトリソグラフィ技術を用いて、上部及び下部電極からそれぞれ配線を引き出すために絶縁層にビアホール形状のフォトレジストパターンを形成する。

(4) 続いて基板全面に、上部と下部電極の絶縁を行うため、絶縁層(二酸化シリコン膜および酸化シリコン膜および窒化シリコンなど) をスパッタリング法及び蒸着法により堆積させる。

(5) リフトオフ法(フォトレジストを除去)による層間絶縁膜が完成する。

(6) 最後に配線電極を全面にスパッタリング法により堆積した後、フォトリソグラフィ技術により配線用フォトレジストパターンを形成し、エッチングにより、配線層を加工する。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

前述したように、超伝導トンネル接合（ジョセフソン）素子の作成においては、上部電極と下部電極の絶縁を行うための絶縁膜は、その絶縁特性や誘電特性が、超伝導トンネル接合素子の特性にも影響を与える。例えば、絶縁特性が悪く、リーク電流が存在すると、接合素子のサブギャップリーク特性に重畳した形で現れる。このように、接合素子の特性変化による超伝導集積回路への影響も大きい。この絶縁特性及び誘電率特性の点において、従来の絶縁膜材料として用いられていた酸化シリコン膜や窒化シリコン膜などは、不十分であった。また、特に酸化シリコン膜は、酸素を含むため、酸素による超伝導特性の劣化を引き起こし易いニオブ超伝導体にとって、好ましくない材料であった。

また、超伝導伝送線路の信号伝搬速度は、層間絶縁層の比誘電率が小さいほど高速になるので、比誘電率の小さい材料が好ましい。

本発明は、層間絶縁膜に用いる材料として、絶縁特性が良く、比誘電率が小さく、超伝導電極への悪影響がない材料を用いて、超伝導トンネル接合素子を作製することを目的としている。

また、本発明は、同時に、真空装置を使わず、簡便な塗布方法で絶縁膜を堆積し、リソグラフィ工程のみでビアホールを形成することで、工程数を減少させて、ビアホール形成工程の確実性を向上させることを目的としている。

【0008】

【課題を解決するための手段】

上記の課題を達成するために、本発明では、ミクロンからサブミクロンの高解像度を有する溶媒可能な感光性有機絶縁材料、例えば感光性溶媒可溶ポリイミドを、超伝導トンネル接合素子の下部及び上部電極を絶縁するための層間絶縁膜として用いる。ここで、ポリイミドとは、イミド結合を有する有機高分子を指している。

【0009】

本発明の超伝導トンネル接合素子は、ミクロンからサブミクロンレベルの高解像特性を有する感光性有機膜を絶縁膜として用いることにより、絶縁層へのビア

ホール加工がリソグラフィ工程のみで達成されるため、従来の層間絶縁膜形成技術に比べて、大幅に工程数が簡略化される。前の工程において作製された電極、配線層などの凹凸のある表面上に、スピン塗布法で高解像度感光性有機材料を塗布することにより、良好な被覆性により段差が緩和されることで、その後の上部配線工程において、段差乗り越え部分の細りなど不良箇所が大幅に低減される。以上により、配線工程の信頼性が向上し、デバイスの製造歩留まりが改善できるといった利点がある。

本発明の超伝導集積回路は、基板上に、下から下部超伝導電極、トンネルバリア、微細な接合形状にエッチング加工された上部超伝導電極の順で積み上げ、微細なビアホールが形成された感光性溶媒可溶有機絶縁層を配置したことを特徴とする。

また、本発明の超伝導集積回路の作成方法は、基板上に、下部超伝導電極、トンネルバリア、及び上部超伝導電極を順次堆積し、下部電極パターンで微細加工し、その後、上部電極パターンで微細加工し、全面に感光性溶媒可溶有機絶縁膜を塗布し、リソグラフィ工程により、ビアホールを形成したことを特徴とする。

【0010】

【発明の実施の形態】

本発明の実施例について、図1に例示の実施形態を参照して説明する。

(1) 基板上にMgO膜によるエッチング保護層を形成し、Nb下部電極/AIO_xトンネルバリア/微細な接合形状にエッチング加工されたNb上部電極の構造をもつトンネル接合を堆積した後に、フォトリソグラフィ技術により下部電極用レジストパターンおよび上部電極用レジストパターンを形成し、それぞれエッチングによってトンネル接合素子及び下部配線層を形成する。

(2) 続いて基板全面に、上部と下部電極の絶縁を行うため、高解像度な感光性溶媒可溶有機絶縁材料、例えば感光性溶媒可溶ポリイミドを塗布し、絶縁膜を形成する。このとき、真空装置を用いることなく、例えばスピンコーティング、スクリーン印刷等の方法で簡便に塗布することができる。また、感光性溶媒可溶有機絶縁材料の溶媒濃度や分子量により絶縁膜を任意の厚さに制御することが可能である。その後、90～100℃程度で加熱乾燥することで残った溶媒を飛ばし

、感光特性を安定させる。

(3) フトリソグラフィ技術を用いて高解像度感光性有機絶縁材料を用いた絶縁膜に、上部及び下部電極からそれぞれ配線を引き出すためのビアホールを形成する。このときビアホールパターンの描かれたフォトマスクを用いて、高解像度感光性絶縁材料、例えば感光性ポリイミドに対して、紫外線で露光を行う。この後、露光された絶縁膜をアルカリ溶液、例えばNメチル2ピロリドン、アミノエタノール、水の混合液に浸して、感光した絶縁材料部分を溶出させることで現像を行う。最後に、試料基板を加熱することで高解像度感光性絶縁材料の溶媒及び感光剤を気化させて、除去する。このとき超伝導トンネル接合素子の特性を高品質に保つためには、加熱温度をなるべく低く保つことが必要である。感光性ポリイミドを用いた場合は、この加熱温度を150℃程度に抑えることができる。以上により、層間絶縁膜の完成である。

(4) 最後に配線電極を全面にスパッタリング法により堆積した後、フトリソグラフィ技術により配線用フォトレジストパターンを形成し、エッチングにより、配線層を加工する。

【0011】

例示の実施形態は、超伝導トンネル接合素子の周辺絶縁に感光性溶媒可溶絶縁層を用いた場合であるが、超伝導グランドプレーン層と下部超伝導電極層の間の絶縁層、および、超伝導配線層と第2超伝導配線層（コントロール配線層）の間の絶縁層などにも用いることが可能である。

したがって、超伝導集積回路内のすべての絶縁層を感光性溶媒可溶絶縁層とすることも可能である。

【0012】

本発明の方法により、試作されたNb超伝導体を電極とする超伝導トンネル接合素子について、従来の酸化シリコン膜を絶縁層に用いた場合のトップデータに比べても遜色のない、サブギャップリークの小さい接合特性が得られている。温度4.2Kにおいて、素子特性の指標となる電圧2mVでのVm値は、90mVであった。したがって、本発明の超伝導集積回路は、非常にサブギャップリークの少ない接合特性が要求される超伝導放射線検出器にも十分適用できる。

【0013】

基板面内の特性バラツキは、見られなかった。一方、従来の酸化シリコン膜を絶縁層に用いた場合は、作製条件に強く依存しており、バラツキの少ない最適条件を見いだす必要があった。

また、極低温 4.2 K と室温との 10 回の熱サイクルに対して、特性の変化は、見られず、剥離、ひび割れなどの兆候も見られなかった。

【0014】

【発明の効果】

本発明によれば、ミクロンからサブミクロンの高解像度有機材料、特に感光性ポリイミドをトンネル接合の上部及び下部電極の絶縁膜として用いることで、スピン塗布により高解像度感光性有機材料を前工程において作製された電極、配線層により凹凸のある表面の上に塗布することにより高解像度感光性有機絶縁層の表面が平坦化されて形成され、従来の真空装置を用いた堆積法を用いずに堆積でき、その絶縁層へのビアホール加工がリソグラフィ工程のみで達成されることで、多大なコストが軽減され、大幅に工程を簡略化できる。

【0015】

また絶縁膜として用いた高解像度感光性有機材料、特に感光性ポリイミドは、絶縁特性が優れていることから、上部及び下部電極間のリーク電流が小さい良好な特性を示す接合ができる。また層間絶縁膜の比誘電率が 3 程度（ちなみに酸化シリコンは、4）と小さくなるため、配線において、より高速な信号伝搬が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の実施形態として、高解像度感光性溶媒可溶有機材料、例として感光性溶媒可溶ポリイミドを接合の上部及び下部電極の絶縁膜として用いた作製工程図を示す。

【図 2】

従来例として、絶縁膜を堆積した後に、フォトレジストを基板全面に塗布し、リソグラフィ工程によるパターンニングを行い、エッチングによるビアホールビア

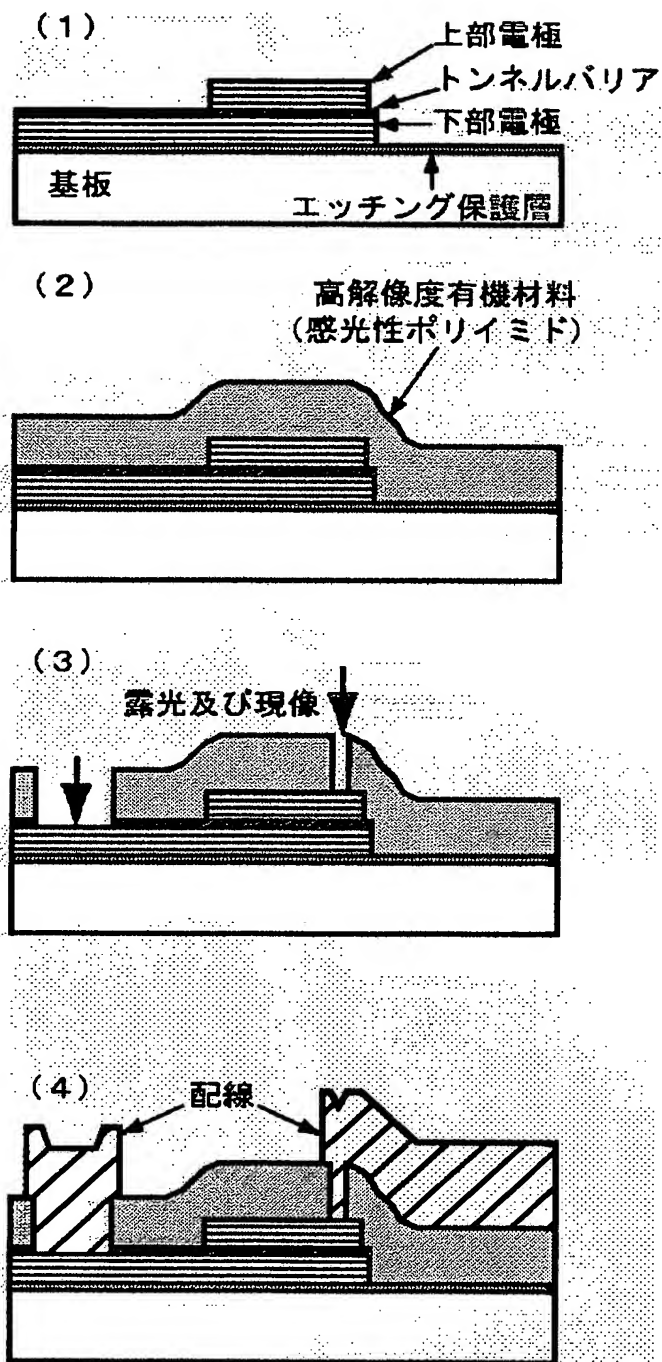
ホール加工による層間絶縁膜形成工程図を示す。

【図 3】

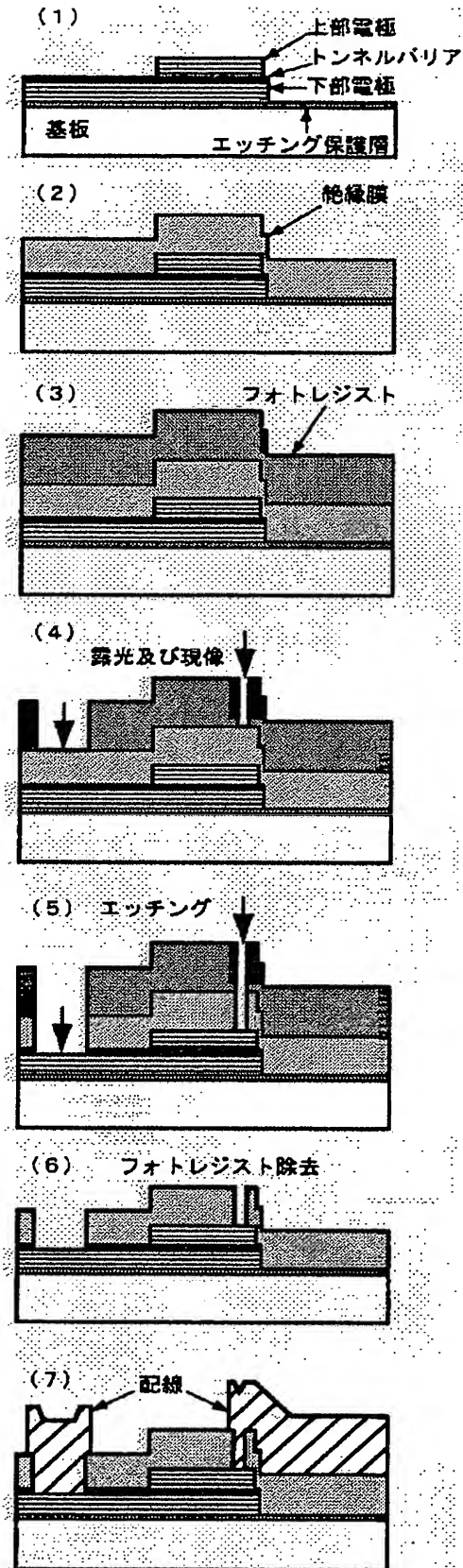
従来例として、フォトリジストを基板全面に塗布し、リソグラフィ工程よりビアホールビアホール形状にフォトリジストを形成し、その後絶縁膜を堆積し、リフトオフによる層間絶縁膜形成工程図を示す。

【書類名】 図面

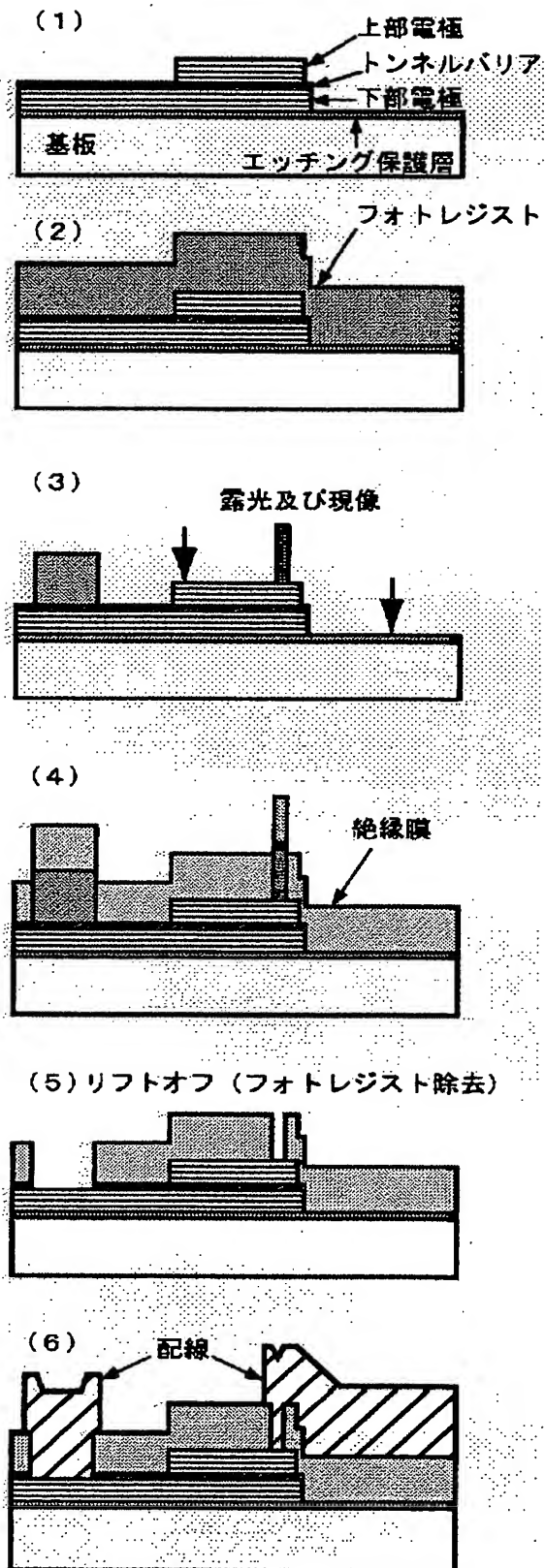
【図 1】



【図 2】



【図 3】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 層間絶縁膜に用いる材料として、絶縁特性が良く、低誘電率特性を示す材料を用いて、超伝導トンネル接合素子を作製することを目的としている。

【解決手段】 本発明の超伝導集積回路は、基板上に、下から下部超伝導電極、トンネルバリア、微細な接合形状にエッチング加工された上部超伝導電極の順で積み上げ、微細なビアホールを有する高解像感光性ポリイミド絶縁層を配置する。高解像感光性ポリイミドを超伝導トンネル接合素子の上部及び下部電極の絶縁膜として用いることにより、絶縁層へのビアホール加工がリソグラフィ工程のみで達成され、従来の真空プロセスを用いる絶縁膜形成に比べて、多大なコストが軽減され、大幅に工程を簡略化できる。

【選択図】 図1

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2002-224293
受付番号	50201136537
書類名	特許願
担当官	田丸 三喜男 9079
作成日	平成14年 8月 2日

< 認定情報・付加情報 >

【提出日】	平成14年 8月 1日
-------	-------------

次頁無

特願 2002-224293

出願人履歴情報

識別番号

[301021533]

1. 変更年月日
[変更理由]

2001年 4月 2日
新規登録

住 所
氏 名

東京都千代田区霞が関1-3-1
独立行政法人産業技術総合研究所